

ETIKA BIOTECHNOLOGICKÝCH ZÁSAHOV DO ĽUDSKÉHO GENÓMU: ARGUMENTY RIZIKOVOSTI A ZNIČENIA ĽUDSKEJ PRIRODZENOSTI

PETER SÝKORA, Centrum pre bioetiku, Katedra filozofie FF UCM v Trnave, Trnava, SR

SÝKORA, P.: The Ethics of Biotechnological Interventions into Human Genome: Arguments of High Risk and Destroying Human Nature
FILOZOFIA 70, 2015, No. 5, pp. 329-342

Until recently, there has been a wide consensus among bioethicists about ethical red line connecting somatic and germ-line gene interventions. From the end of the 1990s this demarcation line has started to be undermined. Recently, mitochondrial replacement techniques which cross this borderline have been legalized in Britain. In addition, new very precise gene-editing techniques CRISPR/Cas9 have already been applied in experiments on human embryos. In reaction, some scientists in a letter to the journal *Nature* call for moratorium on human germ-line experiments. The aim of this paper is to reconsider in the light of recent scientific achievements concerning the complexity of human genome two frequently used arguments against inheritable genetic modifications: that of a high risk of destroying human genome and that of the necessity to protect human nature.

Keywords: Inheritable genetic modifications – Designer babies – Mitochondrial replacement – PGD – Eugenics – Gene therapy – Human enhancement

Úvod. V súvislosti s najnovším rozvojom technológií génového inžinierstva, ktoré sa okrem rastlín a zvierat začína dotýkať aj človeka, sa dostáva s novou naliehavosťou do popredia otázka, do akej miery, a či vôbec, sú eticky prijateľné cieľené manipulácie s ľudským genómom. Novú etapu skúmania tohto problému tak trochu symbolicky vyznačuje oznámenie vedcov o dešifrovaní kompletnej sekvencie ľudskej DNK na začiatku 21. storočia. Otvorila sa tým éra tzv. personalizovanej medicíny, keď sa terapia chorôb bude „šiť na mieru“ konkrétneho pacienta na základe jeho sekvencie DNK. Navyše, mnohé technológie, ktoré sa doteraz vyvíjali samostatne, sa začínajú navzájom dopĺňať, čím sa ich efekt výrazne zosilňuje. Napríklad použitie kmeňových buniek sa kombinuje s cieľovými génovými manipuláciami, nanotechnológie sa spájajú s biologickými a informačno-kognitívnymi prístupmi (napríklad syntetická biológia). Tento trend sa označuje termínom *technológie NBIC*¹ a má oveľa širšie uplatnenie než len v medicíne (napr. pri hľadaní alternatívnych zdrojov energie či efektívnych spôsobov čistenia životného prostredia).

¹ Pozri bližšie (Gordijn 2008).

Posledné dve desaťročia môžeme sledovať výrazný posun v etickom hodnotení biotechnologických zásahov do ľudskej dedičnej informácie predovšetkým v rámci dnes už rozsiahleho diskurzu týkajúceho sa vylepšovania človeka (*human enhancement*). Vynára sa otázka, či biomedicínske vylepšovanie človeka je z etického hľadiska v porovnaní s ostatnými formami vylepšovania niečím zásadne iným. Ďalej je tu otázka, či genetické vylepšovanie človeka je z etického hľadiska v porovnaní s inými formami biomedicínskeho vylepšovania (napr. chemickými látkami) principiálne niečím iným. Na rozdielnosť by poukazovalo prinajmenšom známe historické odsúdenie eugenických praktík z prvej polovice 20. storočia.²

Na druhej strane, spolu so zavedením technológií asistovanej reprodukcie (ART), predovšetkým umelého oplodnenia (IVF), ako aj prenatálnej (PND) a predimplantačnej diagnostiky (PGD) sa postupne od 80-tych rokov minulého storočia začína rozlišovať v sekulárnom bioetickom diskurze medzi eticky prijateľnou „novou eugenikou“ a eticky odmietnutou „klasickou eugenikou“ prvej polovice 20. storočia.³

Naliehavosť riešenia etických problémov spojených s biomedicínskym zasahovaním do ľudskej dedičnej informácie pripomenul najnovší vývoj na britskej biopolitickej scéne, keď parlament Spojeného kráľovstva vo februári 2015 prijal zmenu zákona z roku 1990 o ľudskom oplodnení a embryológii, v dôsledku čoho sa legalizuje genetický zásah do ľudských vajíčok a zygot, ktorý sa dedične prenáša do ďalších generácií. Ide o historický míľnik, pretože legalizovaním tejto reprodukčnej biotechnológie sa ruší desaťročia všeobecne rešpektované etické tabu nedotýkať sa genetickými manipuláciami línie ľudských zárodočných buniek, pretože takéto genetické zásahy natrvalo ovplyvnia generácie potomkov.

Toto morálne tabu je v mnohých krajinách „poistené“ aj legislatívne – viaceré krajiny svojimi zákonmi explicitne takéto genetické zásahy zakazujú. Tento zákaz vyjadrujú aj viaceré medzinárodné dokumenty, niektoré majú len odporúčajúci charakter, iné sú právne záväzné. Európskych krajín sa týka predovšetkým Dohovor Rady Európy o ľudských právach a biomedicíne z roku 1997, ktorý je pre signatárov (patrí k nim na rozdiel od Veľkej Británie aj Slovenská republika) legislatívne záväzný. V 13. článku (Zákrok do ľudského genómu) sa zásahy do ľudského genómu, ktoré by sa prenášali na ďalšie generácie, explicitne zakazujú: „Zákrok, ktorého cieľom je modifikácia ľudského genómu, sa môže vykonať len na preventívne, diagnostické alebo terapeutické účely a len do tej miery, aby sa neporušila zárodočná bunková línia.“⁴

Cieľom tejto štúdie je preskúmať etické aspekty dedičných genetických modifikácií ľudského genómu z pohľadu dvoch hlavných námietok – vysokej rizikovosti takýchto

² Klasickým dielom o eugenike je napríklad (Kevles 1985).

³ V česko-slovenskom filozofickom prostredí na tento rozdiel medzi dvoma eugenikami nedávno poukázal T. Hříbek (Hříbek 2014).

⁴ Rada Európy: Dohovor o ľudských právach a biomedicíne (1997) (č. 164). Dostupné na: <http://wayback.archive-it.org/2172/20101103195022/http://www.radaeuropy.sk/?1221> (navštívené 4. 3. 2015).

zásahov a možného zničenia ľudskej prirodzenosti. V tomto kontexte tiež ukážeme, prečo rozhodnutie britského parlamentu považujeme za predčasné.

Nepriame zasahovanie do ľudského genómu. V sci-fi filme GATTACA zobrazujúcom blízku budúcnosť, ktorý je často používaným príkladom v bioetickom diskurze, vysvetľuje genetik na klinike asistovanej reprodukcie budúcim rodičom princíp dizajnovania detí pomocou predimplantačnej genetickej diagnostiky (ďalej PGD), pričom zdôrazňuje relatívnu prirodzenosť tejto metódy v porovnaní s génovým inžinierstvom: Bude to stále vaše (genetické) dieťa, bude vlastne tým najlepším z vás (rozumej: bude mať vaše najlepšie verzie génov). Inými slovami, PGD nezasahuje priamo do genetickej informácie, „len“ sa pomocou nej ovplyvňuje genetická ruleta, ktorá sa spúšťa pri každom počatí. Ide o to, aby sa novorodenec stal genetickým „jackpotom“: „Mohli by ste skúsiť počať tisíckrát a nikdy by ste nedostali takýto výsledok,“ hovorí filmový genetik.

Mieru dnešného reálneho priblíženia sci-fi realite dizajnovania detí z filmu GATTACA symbolizuje udelenie US patentu na metódu genetickej selekcie gamét v roku 2013 súkromnej americkej genetickej spoločnosti 23andMe. Vo svojej patentovej prihláške spoločnosť uvádza, že okrem identifikácie znakov viažucich sa na rôzne ochorenia (napr. dispozície na niektoré typy rakoviny, vekovo podmienenú degeneráciu očnej sietnice) bude možné touto metódou vyberať znaky, akými sú výška, farba očí, svalová výbava, povahové rysy (Sterckx et al. 2013; DeFrancesco 2014).

Častou etickou námietkou proti uskutočňovaniu selekcie embryí pomocou PGD je tvrdenie, že ide v podstate o modernizovanú obdobu eugeniky. Niektorí odporcovia PGD selekcie embryí idú tak ďaleko, že ju prirovnávajú k novodobému holokaustu. Je však eugenika ako taká neetická? Viacerí súčasní bioetici s takýmto hodnotením eugeniky nesúhlasia. Považujú niektoré moderné eugenické praktiky nielen za eticky prijateľné, ale dokonca v niektorých prípadoch za morálne závažné (Buchanan et al. 2000). Jedným z najvýraznejších obhajcov „novej alebo liberálnej eugeniky“ je americký bioetik Nicholas Agar. Podľa Agara neetickosť klasickej eugeniky spočíva v jej autoritatívnosti (Agar 2004). Naproti tomu liberálna eugenika sa opiera o liberálny princíp prokreatívnej slobody ľudí, podľa ktorého jedine rodičia majú právo rozhodovať o tom, kedy a koľko budú mať potomkov. Liberálna eugenika je rozšírením tohto prokreatívneho práva smerom k právu mať čo najzdravšie, geneticky najlepšie do života pripravené deti. Klasická eugenika sa opiera o potláčanie individuálnych slobôd a práv štátnou autoritou, ktoré vedie k diskriminácii niektorých ľudí, pretože sleduje kolektívne ciele.

Avšak vzťah medzi liberálnosťou a autoritárstvom v rámci eugeniky môže byť oveľa zložitejší. Samotná liberálnosť novej eugeniky nielenže jej automaticky nezabezpečí etickosť, ale dokonca môže byť príčinou jej neetickosti. Austrálsky bioetik M. Selgelid polemizuje s názorom, podľa ktorého „hriechy ‚starej eugeniky‘ spočívajú len v tom, že išlo o spoločenské rozhodovanie, ktoré sledovalo spoločenské ciele, kým ‚nová eugenika‘ bude iná a neškodná, pretože reprodukčné rozhodnutia sú v nej autonómne uskutočňované jednotlivcami (t. j. potenciálnymi rodičmi), ktorí sledujú svoje vlastné ciele (t. j. podporu blaha pre členov rodiny) bez donucovania zo strany štátu“ (Selgelid 2002, 9). Ne-

súhlasí s tým, že jediné morálne ponaučenie zo zneužívania starej eugeniky spočíva v tom, že rozhodnutia o reprodukcii musia byť individuálne a že prokreatívna sloboda musí byť chránená pred spoločenským nátlakom. Argumentuje, že v situácii individuálnych reprodukčných práv v prostredí voľného trhu praktiky novej eugeniky môžu viesť k nekontrolovanému využívaniu PGD na pozitívnu selekciu embryí, teda k faktickému vylepšovaniu ľudí, čo bude mať negatívne dopady na spoločnosť. Podľa neho problém starej eugeniky spočíva skôr v nerovnováhe medzi spoločenským a individuálnym rozhodovaním než v samotnej spoločenskosti rozhodovania. Podobne poukázal na naivitu predpokladu etickej samospasiteľnosti liberalizmu v novej eugenike nedávno aj iný austrálsky bioetik R. Sparrow. Upozorňuje, že obhajcovia novej eugeniky si idealizujú modernú politickú kultúru a nedostatočne analyzujú reálne nebezpečenstvo zneužitia modernej eugeniky v sociálnom inžinierstve na základe podobných motívov ako v prípade klasickej eugeniky v minulosti (Sparrow 2014).

Priame zasahovanie do ľudského genómu. Využitie PGD na selekciu, či už negatívnu, alebo pozitívnu, predstavuje nepriame zasahovanie do ľudského genómu. S objavením techník génového inžinierstva v 70-tych rokoch 20. storočia, ktoré boli použité najprv na mikroorganizmoch a rastlinách, neskôr na zvieratách, sa otvoril celý nový horizont možností priameho zasahovania do ľudského genómu (Gordon 2003). Na rozdiel od zásahov pomocou mutagénov, ktoré sú v podstate náhodné, génové inžinierstvo prinieslo možnosť meniť genetickú informáciu cielene, rýchlejšie a zásadnejším spôsobom. Hneď po objavení techník genetického inžinierstva sa začalo špekulovať o ich využití pri terapii genetických chorôb.

V tejto súvislosti treba zdôrazniť dva rozdielne spôsoby zasahovania do genetickej informácie mnohobunkových organizmov. Buď ide o zásah do DNK špecializovaných buniek tela (tzv. somatických buniek), alebo o zásah do buniek pohlavných, prípadne buniek, z ktorých pohlavné bunky vznikajú (do germinálnych buniek, do tzv. línie pohlavných buniek; *germ-line cells*). V prvom prípade zásah do genetickej informácie nie je dedičný. Keď jedinec s pozmenenou DNK v somatických bunkách zomrie, zanikne s ním aj jeho pozmenená DNK, pretože táto genetická zmena nijako neovplyvní DNK v pohlavných bunkách, z ktorých vzniká nasledujúca generácia. Je to preto, lebo v ranom vývoji embrya sa veľmi skoro oddelia od seba dve línie buniek – jedna, z ktorej neskôr vznikajú všetky pohlavné bunky, a druhá, z ktorej vzniknú všetky ostatné bunky tela.

Naproti tomu v druhom prípade, keď je pozmenená DNK pohlavných buniek, z ktorých vzniká embryo, alebo je pozmenená DNK buniek raného embrya, z ktorých pohlavné bunky neskôr vzniknú, je táto zmena dedičná, pretože sa prenesie na všetky ďalšie generácie. V takom prípade sa hovorí o germinálnej génovej modifikácii (*germ-line gene modification*). Najnovšie sa tento typ génovej manipulácie začína označovať termínom „dedičná genetická modifikácia“ (*inheritable genetic modification* – ďalej IGM).

Pomocou IGM sa dnes bežne vytvárajú rozmanité formy tzv. transgénových zvierat či už pre potreby výskumu (myši, potkany, králiky, opice), alebo pre potreby chovu (ovce,

ošípané, dobytok a i.). Genetici rozpoznávajú približne šesť tisíc genetických ochorení. Mnohé z nich majú pre svojich nositeľov fatálne dôsledky už v ranom veku, niektoré až v neskoršom. Genetické ochorenia nie sú liečiteľné – výnimkou je použitie génovej terapie. Princíp génovej terapie spočíva v tom, že sa do buniek s poškodeným génom vnesie (najčastejšie pomocou upravených vírusov) nepoškodený gén vytvárajúci v bunke génový produkt (RNK, bielkovinu), ktorého funkcia je pre normálny zdravotný stav nevyhnutná a ktorú poškodený gén nie je schopný vytvárať.

Len čo sa začalo hovoriť o génovej terapii, vedci samotní prijali všeobecný konsenzus: Génová terapia môže byť akceptovateľná len v prípade vnášania génov do somatických buniek, ale nie do buniek pohlavnej línie, pretože nie je ani bezpečné, ani eticky správne zasahovať do genetickej informácie budúcich generácií.

Od prvého klinického pokusu v roku 1980 sa technológia somatickej génovej terapie (SGT) neustále zdokonaľovala a dnes je známych približne dvetisíc prípadov jej použitia. V roku 2004 bolo v Číne oficiálne schválené komerčné využitie SGT na liečbu určitých foriem rakoviny, v Európe bola schválená v r. 2012 metóda somatickej génovej terapie na liečbu pankreatitídy spôsobenej absenciou enzýmu, ktorý rozkladá tuky (Rasko 2006).

Etika dedičných genetických modifikácií u človeka. Kým somatická génová terapia sa dnes vo všeobecnosti považuje za eticky neproblematickú a je len otázkou času, kedy sa stane štandardnou liečebnou metódou, germinálna génová terapia bola až doneďavna všeobecne odmietaná. Avšak za posledných 10 – 15 rokov sa tento negatívny postoj zmenil a viacerí bioetici už nevidia dôvod, prečo ju nepovažovať za eticky prijateľnú, samozrejme za predpokladu, že jej použitie bude rovnako bezpečné ako v prípade ktorejkoľvek inej liečebnej metódy. Môžeme rozlíšiť zhruba tri kategórie postojov k intervenciám IGM: radikálne odmietanie, čiastočné odmietanie, nadšené prijímanie.

Radikálni odporcovia IGM odmietajú akékoľvek zásahy do ľudského genómu, ktoré by sa prenášali do ďalších generácií. Tento ich postoj je dokonca podporený aj zákonmi viacerých štátov aj spomínanou medzinárodnou legislatívou na európskej úrovni. Vyššie citovaný článok 13 Dohovoru Rady Európy o ľudských právach a biomedicine jasne zakazuje zákroky, či už terapeutické alebo vylepšujúce, ktoré by viedli „k akémukoľvek modifikovaniu genómu potomkov.“⁵

Umiernení odporcovia IGM (napr. F. Fukuyama, N. Agar) prijímajú germinálnu génovú terapiu, ale odmietajú germinálne genetické vylepšovania človeka. Vidia priepastný etický rozdiel medzi terapiou a vylepšovaním, a to nielen genetickým, ale aj medzi tera-

⁵ Slovenský preklad Dohovoru o ľudských právach a biomedicine (Oviedo 1997) je vzhľadom na to, že ide o právny dokument, až prekvapujúco nepresný. V originálnej anglickej a francúzskej verzii sa v texte čl. 13 termín „zárodočná línia buniek“, ktorej porušenie je zakázané, vôbec nevyskytuje! Dohovor zakazuje modifikáciu ľudského genómu, ktorá by viedla k modifikácii genómu potomkov, nie však porušenie zárodočnej línie buniek, čo nie je identické s modifikáciou genómu. („Article 13 – Interventions on the human genome. An intervention seeking to modify the human genome may only be undertaken for preventive, diagnostic or therapeutic purposes and only if its aim is not to introduce any modification in the genome of any descendants.“ <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/164.htm>)

piou a všetkými negenetickými spôsobmi biomedicínskeho vylepšovania človeka.⁶

Zástancovia intervencií IGM, terapeutických aj vylepšujúcich, spochybňujú faktickú existenciu jasnej hranice medzi terapiou a vylepšovaním, a preto tiež spochybňujú jej praktické normatívne použitie. Navyše, spochybňujú paušálne zavrnutie vylepšovania človeka a argumenty poukazujúce na jeho neetickosť. Nevidia ani rozdiel medzi biomedicínskymi a inými formami vylepšovania, ani rozdiel medzi genetickým a negenetickým vylepšovaním (napr. Buchanan 2011). Ide o zástancov vylepšovania človeka buď umiernených (Agar 2014), ktorí akceptujú vylepšovania nepresahujúce hranice variability znakov v hraniciach ľudského druhu, alebo radikálnych (napr. Bostrom 2005; Harris 2007), ktorí nemajú problém s vylepšovaním prekračujúcim hranice ľudského druhu (transhumanizmus), smerujúcim až k etablovaní celkom nového, posthumánneho druhu.

V nasledujúcej časti sa sústreďíme na dva najčastejšie používané argumenty proti IGM. Prvým je argument mimoriadnej rizikovosti IGM. Riziko manipulovania s ľudským genómom je obrovské, pretože je harmonickým, a súčasne veľmi krehkým komplexom interaktívnych vzťahov medzi génmi, takže aj drobnými zásahmi riskujeme jeho zničenie („argument domčeka z kariet“). Mohli by sme to prirovnať k riziku zdanlivo drobných zásahov do životného prostredia, ktoré môžu viesť k zrúteniu celého ekosystému. Druhým argumentom je ochrana genetického základu ľudskej prirodzenosti. Argumentuje sa tým, že genetické vylepšovanie človeka pomocou IGM povedie k zásadným zmenám ľudského genómu, dôsledkom čoho bude tiež zmena ľudskej prirodzenosti. To bude mať veľmi negatívne náboženské, sociálne a politické dôsledky. Preto je nevyhnutné chrániť ľudský genóm v jeho prirodzenej, nevylepšenej podobe, a tým chrániť ľudskú prirodzenosť pred jej deformovaním, až zničením. Rozoberme obidva argumenty podrobnejšie.

Argument neúmerného rizika IGM. Pokiaľ ide o riziko IGM, môžeme povedať, že jeho odhad závisí rovnako ako odhad rizika ktorejkoľvek inej biomedicínskej intervencie od stavu vedeckého poznania relevantnej skutočnosti. Odlišuje sa IGM vo svojej podstate od iných foriem biomedicínskych zásahov do ľudského tela? Nepochybne je tu jeden významný rozdiel oproti všetkým ostatným typom biomedicínskych zásahov: IGM geneticky pozmení (diskutabilne navždy) všetky nasledujúce generácie potomkov.

Problémy rizikovosti génovej terapie dobre ilustrujú prípady zlyhania, ktoré viedli k dočasnému pozastaveniu somatickej génovej terapie koncom minulého storočia (Häyry 2010, 174-177). Známym je prípad osemnásťročného Jesseho Gelsingera, ktorý trpel deficitom enzýmu zabezpečujúceho normálny metabolizmus pečene, pretože mal poškodený gén pre jeho syntézu. V roku 1999 dobrovoľne podstúpil 1. fázu klinických testov somatickej génovej terapie (v nej sa testujú toxické, nie terapeutické účinky). Nepoškodený gén sa pomocou upraveného adenovírusu dopravoval do jeho tela a Gelsinger po štyroch

⁶ The President's Council on Bioethics (2003): *Beyond Therapy: Biotechnology and the Pursuit of Happiness*. Washington, D.C. Dostupné na: https://repository.library.georgetown.edu/bitstream/handle/10822/559341/beyond_therapy_final_webcorrected.pdf?sequence=1&isAllowed=y (navštívené 12. 3. 2015).

dňoch zomrel. Dodatočne boli identifikované nedostatky testovaného postupu, spočívajúce okrem iného aj v tom, že už predchádzajúce pokusy na opíciach mali smrteľné následky a že Gelsinger nebol zo zdravotného hľadiska vhodným subjektom na klinické testovanie.

Vedci vo Francúzsku a Veľkej Británii začali koncom 90-tych rokov minulého storočia so sériou somatickej génovej terapie tzv. „bublinových detí“ (deti žijúce v izolovanom sterilnom prostredí) postihnutých vážnym oslabením imunitného systému v dôsledku poškodeného génu. Nepoškodený gén bol vnášaný do tel týchto pacientov pomocou upraveného vírusu. V štyroch prípadoch z jedenástich vo Francúzsku a v jednom zo štrnástich v Británii sa vyvinula leukémia ako priamy dôsledok génovej terapie. To viedlo k dočasnému embargu na génovú terapiu a k prehodnoteniu jej metodiky.

Ukázalo sa, že leukémia bola spôsobená tým, že vírus, ktorý mal dopraviť do buniek nepoškodený gén, sa integroval do chromozómov na nesprávnom mieste, v dôsledku čoho bola vyvolaná rakovina. Aj na základe analýzy týchto neúspešných terapií sa podstatným spôsobom zvýšila kvalita somatickej génovej terapie. Jedným z jej hlavných cieľov bolo dostať pod kontrolu pohyb vírusového vektoru tak, aby nebol schopný náhodne sa integrovať do chromozómov.

V prípade, že by nešlo o somatickú, ale o germinálnu génovú terapiu, tieto poškodenia (napr. leukémia) by sa automaticky preniesli aj na nasledujúce generácie potomkov. Namiesto vyliečenia jedného genetického ochorenia by sa tak do genofondu vnieslo nové genetické ochorenie.

Veľké nádeje v tomto smere prináša najnovší objav mechanizmu CRISPR/cas9 – absolútne presného „vystrihovania“ a „vlepovania“ génov/sekvencií do genómov. Vedcom sa podarilo s využitím tohto mechanizmu vyvinúť revolučnú metódu génového inžinierstva (Wang et al. 2013). Tým by sa mala znížiť rizikovosť IGM v dôsledku nepresnosti zásahov do genómu. V reakcii na správy, že čínski vedci už použili túto technológiu na modifikovanie DNK v ľudských embryách,⁷ publikovali v polovici marca 2015 dva prestížne vedecké časopisy *Science* a *Nature* výzvy dvoch skupín vedcov, aby na tento typ zásahov do ľudskej DNK bolo uvalené moratórium (Baltimore et al. 2015; Lamphier et al. 2015). Vedci tvrdia, že pokiaľ nebudú vyjasnené otázky rizikovosti použitia týchto metód a prediskutované možnosti ich aplikácie z filozofického a etického hľadiska, mali by byť zakázané. Súčasne sa obávajú, že obavy verejnosti z použitia týchto metód na embryách môžu diskreditovať tieto metódy, aj pokiaľ ide o potreby somatickej génovej terapie.

Na rozdiel od terapeutických IGM v prípade vylepšovacích IGM ide o zmenu časti genómu, ktorá v rôznej miere môže vplývať neznámym spôsobom prostredníctvom spleti vzájomných interakcií na fungovanie ostatných génov v genóme. S veľkou pravdepodobnosťou možno predpokladať negatívny vplyv, pretože pri vylepšujúcom zásahu IGM genetickú zmenu nepredchádzal dlhý proces evolučnej adaptácie, ktorý doladzuje vzájom-

⁷ Výsledky týchto experimentov v čase finalizovania textu našej štúdie neboli ešte publikované, prebiehalo ich recenzné konanie.

nú interakciu medzi génmi. Toto riziko sa nezniží presnosťou zásahov do ľudského genómu, pretože s presnosťou zásahu nesúvisí.

Riziko terapeutických IGM by preto malo byť principiálne oveľa nižšie, než je riziko vylepšujúcich IGM, a mohlo by podľa nášho názoru slúžiť ako určité kritérium posudzovania rizikovosti IGM vo všeobecnosti. Pri terapeutických zásahoch IGM nastoľujeme normálne fungujúce interakcie medzi génmi v genóme. Inými slovami, konečný stav poškodeného genómu po terapeutickom zásahu by mal byť taký normálny a zdravý, ako je stav genómu bez akéhokoľvek zasahovania. Pri vylepšujúcich genetických zásahoch je v porovnaní s normálnym stavom konečný stav génových interakcií kvalitatívne iný; môže byť ako *celok* lepší, ale aj horší (napriek tomu, že vo vylepšovanom géne došlo k zlepšeniu, nech už mu rozumieme akokoľvek).

Fukuyama ide ešte ďalej. Argumentuje komplexnosťou ľudského genómu, ktorá je taká vysoká, že predstavuje principiálnu epistemickú prekážku na ceste k úplnému poznaniu ľudského genómu, a teda aj ľudskej prirodzenosti. Vo všeobecnosti pre komplexné systémy, medzi ktoré radí Fukuyama aj ľudský genóm, platí, že ich správanie nie je možné poznať na základe poznania správania ich jednotlivých konštitutívnych častí. Ľudský genóm je podľa Fukuyamu presne takýmto komplexným systémom, ľudská prirodzenosť (faktor X – pozri nižšie) je jeho emergentnou, neredukovateľnou vlastnosťou. Takéto systémy sa správajú nelineárne, z čoho tiež vyplýva, že aj drobné zmeny sa môžu prejavovať veľkými zmenami, ba až chaosom (Fukuyama tu má na mysli známy efekt motýľích krídel a teóriu deterministického chaosu; Fukuyama 2002, 162-165).

A. Buchanan túto námietku nazýva „argumentom enormnej prepojenosti“ (*extreme connectedness argument*) a tvrdí o nej, že nezodpovedá empirickým poznatkom genetikov (Buchanan 2011, 79-85). Organizmy, ako je všeobecne známe, totiž vykazujú vysoký stupeň organizačnej modularity, čo znamená, že v rámci ich subsystémov (modulov) sú prepojenia medzi časťami užšie než prepojenia častí v rámci celého celku. Z toho potom vyplýva, že negatívny zásah do subsystému nemusí automaticky viesť k zrúteniu celého systému. U organizmov sa tiež stretávame s redundanciou aj v prípade genetickej informácie. V bunkových jadrách diploidných organizmov je každý gén prítomný v dvoch buď identických, alebo mierne sa líšiacich kópiách. Poškodenie jednej môže byť funkčne suplované nepoškodenou druhou kópiou (preto sa recesívne mutácie neprejavajú v heterozygotnom stave). Buchanan nie je proti tvrdeniu, že ľudský genóm je celok so vzájomne prepojenými časťami, kritizuje však tvrdenie, že jeho časti sú prepojené tak úzko, že akýkoľvek, aj malý zásah automaticky poškodí celý genóm. Ak je integrovanosť ľudského genómu nižšia vďaka modulom a redundancii, tak genóm nie je krehkým „domčekom z kariet“.

Aj podľa Buchanana je otázka určenia miery integrovanosti ľudského genómu otázkou empirického výskumu, a nie filozofického teoretizovania. Tvrdí, že nechce, aby sa so špinavou vodou vylialo z vaničky aj dieťa, teda aby sa IGM a genetické vylepšovanie zakázalo paušálne pre údajnú enormnú komplexnosť ľudského genómu. Lenže v tejto súvislosti musíme zdôrazniť, že najnovší empirický výskum potvrdzuje oveľa vyššiu mieru integrovanosti ľudského genómu, než aká sa doteraz odhadovala. Predovšetkým

v rámci vedeckého projektu ENCODE (ENCyclopedia Of DNA Elements)⁸ sa objavilo, že sekvencie DNK, ktoré vedci celé desaťročia považovali za akýsi nefunkčný balast, za tzv. odpadovú DNK (*junk DNA*), majú v ľudskom genóme dôležitú regulačnú úlohu, o ktorej zatiaľ nič nevieme. ENCODE Research Consortium sa v súvislosti s týmto zistením vyjadrilo o ľudskom genóme, že nie je súborom nezávislých génov, ale skôr zložitým zosieťovaným systémom, v ktorom ako gény, tak aj regulačné elementy a iné typy DNK sekvencií, ktoré nekódujú proteíny, spolu vzájomne interagujú spôsobom, ktorému zatiaľ celkom nerozumieme.⁹

Prekvapujúci objav projektu ENCODE je veľmi dobrým príkladom toho, ako argumentácia proti enormnej prepojenosti ľudského genómu môže na druhej strane viesť k podceňovaniu komplexnosti vzťahov medzi jednotlivými časťami ľudského genómu. To sa podľa nás stalo v prípade spomínaného legalizovania technológie nahradenia mitochondrií (*mitochondrial replacement*) vo Veľkej Británii.

Poškodené gény v mitochondriách spôsobujú veľmi vážne ochorenia, ako sú svalová dystrofia, strata pamäti a kognitívnych schopností, niektoré formy autizmu, strata sluchu a zraku, choroby srdca, dýchania, pečene a gastroenterologické ochorenia, disfunkciu štítnej žľazy, obličiek a imunitného systému. V Británii sa odhaduje, že u jedného zo 6500 narodených detí sa vyvinie niektoré z týchto ochorení.

Britský parlament vo februári 2015 schválil dva spôsoby biotechnologického manipulovania, vďaka ktorým dôjde k nahradeniu geneticky poškodených mitochondrií nepoškodenými mitochondriami od daryne.¹⁰ Prvým z nich je metóda prenosu materského deliaceho vretienka (*maternal spindle transfer – MST*), keď sa pred oplodnením *in vitro* preniesie komplex chromozómov z matkinho vajíčka do vajíčka daryne, ktoré bolo takéhto komplexu predtým zbavené. Druhou metódou je prenos protojadier (*pro-nuclear transfer – PNT*). Po oplodnení matkinho vajíčka otcovou spermiou v najrannejšej fáze vzniku zygoty, ešte v štádiu, keď sú otcov a matkin chromozomálny dedičný materiál v bunke oddelenými štruktúrami (tzv. protojadrá), sa tieto protojadrá preniesú z oplodneného vajíčka s geneticky poškodenými mitochondriami do oplodneného vajíčka daryne s nepoškodenými mitochondriami, z ktorého predtým boli protojadrá odobraté.

V obidvoch prípadoch jedinec, ktorý takto vznikne, bude mať genetickú informáciu od troch rodičov, pretože bude mať okrem jadrovej DNK od otca a jadrovej DNK od matky aj mitochondriálnu DNK od daryne. Média dávajú prednosť označeniu „dieťa troch rodičov“ (*angl. three-parent baby*).¹¹ Verejnosť môže byť zavádzaná, ak sa o ta-

⁸ <http://www.genome.gov/encode/> (navštívené 15. 3. 2015).

⁹ NIH/National Human Genome Research Institute. „Encyclopedia Of DNA: New Findings Challenge Established Views On Human Genome.“ *Science Daily*, 13 June 2007. www.sciencedaily.com/releases/2007/06/070613131932.htm (navštívené 15. 3. 2015).

¹⁰ The Human Fertilisation and Embryology (Mitochondrial Donation) Regulations 2015 No. 572. <http://www.legislation.gov.uk/ukdsi/2015/978011125816/contents>

¹¹ K. Klinková: Britskí poslanci odobrili deti troch rodičov, deťom to pomôže prežiť. *SME* 3. 2. 2015. Dostupné na: <http://tech.sme.sk/c/7626001/britski-poslanci-odobrili-deti-troch-rodicov-detom-to-pomoze-prezit.html#ixzz3Tb8Ao4PX> (navštívené 6. 3. 2015); J. Gallagher: MPs say yes to three-person babies.

týchto deťoch hovorí, že majú dve geneticky rovnocenné matky, pretože od darykyne mitochondrií pochádza len 0,1% génov a 99,9% génov pochádza od matky a otca.

Niektorí kritici argumentujú tým, že v prípade PNT ide fakticky o klonovanie ľudí, čo bolo všeobecne odmietnuté ako neetické. No tu nejde o klonovanie. Aj keby sme prenos protojadier považovali za analogický prenosu jadra, protojadrá nepochádzajú (a principiálne ani nemôžu pochádzať) zo somatických buniek. Existuje však možnosť, že by sme mohli techniku nahradenia mitochondrií považovať za klonovanie, a to situácia, keď sa uskutoční prenos jadra z blastoméry raného embrya do zygoty (Bredenoord et al. 2008).

Mitochondrie so svojimi 37 génmi kódujú len funkcie spojené s výrobou energie v mitochondriách, nekódujú nejaké špecifické ľudské vlastnosti, takže nezáleží na tom, či pochádzajú od iného ľudského jedinca. Takto často argumentujú zástancovia použitia týchto technológií IGM. Žiaľ, existuje len jediný empirický dôkaz, ktorý prinieslo použitie týchto technológií na primátoch a ktorý nasvedčuje tomu, že technológia MST môže byť bezpečná. Ide o pokusy na makakoch (Tachibana et al. 2009). Keďže ide o zásah do línie pohlavných buniek, potrebovali by sme tiež vidieť, že sa negatívne vplyvy tohto zásahu neprejavia na ďalšej generácii.

V tejto súvislosti treba povedať, že na svete už existuje približne 30 detí pochádzajúcich z troch genetických rodičov. Sú výsledkom metódy nahradenia mitochondrií známej ako transfer cytoplazmy, resp. ooplazmy (*cytoplasmic/ooplasmic transfer*). Touto metódou sa do vajíčok matky s poškodenými mitochondriami mikroinjekciou vnesie cytoplazma s nepoškodenými mitochondriami z vajíčka darykyne. Takýmto spôsobom bolo na konci 90-tych rokov v USA realizovaných niekoľko zákrokov asistovanej reprodukcie s úspešným narodením detí, než bola v roku 2001 táto metóda zakázaná. Žiaľ, zdravie detí takto počatých nebolo systematicky sledované. Alana Saarinen (narodená v r. 2000) je mediálne najznámejšie dieťa, ktoré vzniklo týmto spôsobom, a zdá sa, že dnes je z nej zdravá tínedžerka.¹²

Na základe uvedených faktov sa domnievame, že vykonávanie prvých terapeutických zákrokov pomocou MST a PNT, ktoré schválená britská legislatíva umožňuje od októbra 2015, je predčasné a rizikovosť týchto metód nebola dostatočne posúdená. Naše vedomosti o fungovaní mitochondriálneho genómu nie sú zatiaľ na potrebnej úrovni. Len nedávno vedci objavili, že mitochondriálny genóm kóduje tisíce malých nekódujúcich molekúl RNK (mitosRNAs), o úlohe ktorých zatiaľ nič nevieme (Ro et al. 2013). Neprebádaný je vplyv epigenetickej dedičnosti na interakciu génov v mitochondriách a v jadre.

BBC News Health 3. 2. 2015; <http://www.bbc.com/news/health-31069173> (navštívené 6. 3. 2015); H. Devlin: Britain's House of Lords approves conception of three-person babies. The Guardian 24. 2. 2015. Dostupné na: <http://www.theguardian.com/politics/2015/feb/24/uk-house-of-lords-approves-conception-of-three-person-babies> (navštívené 6. 3. 2015).

¹² Pritchard, Ch.: The girl with three biological parents. BBC News Magazine (1. 9. 2014). Dostupné na: <http://www.bbc.com/news/magazine-28986843>

Tieto vzťahy by sa mali najprv experimentálne objasniť na zvieracích modeloch, a až potom pristúpiť k terapii ľudí.

Argument ochrany ľudskej prirodzenosti. Argument ochrany ľudskej prirodzenosti sa opiera o tvrdenie, podľa ktorého ľudský genóm predstavuje hodnotu sám osebe. Môžeme ho považovať za formu akéhosi prírodného bohatstva, dedičstva, ktoré patrí celému ľudstvu, a jeho ochranu ponímať podobne ako ochranu genofondov iných biologických druhov. Cieľom tejto ochrany je ľudská prirodzenosť. Nevieme (zatiaľ) určiť, do akej miery je ľudská prirodzenosť determinovaná biologicky a do akej miery kultúrne, ale nech je táto miera akákoľvek, je zrejmé, že väčším zásahom do genómu sa môže zásadným spôsobom ovplyvniť ľudská prirodzenosť. Pracovne môžeme ľudskú prirodzenosť označiť ako „faktor X“, ako neurčito definovaný „komplex interakcií našich jedinečných ľudských kvalít, akými sú morálna voľba, rozum a celá paleta rôznych emócií“ (Fukuyama 2002, 172).

Argumentovať v prospech zachovania ľudskej prirodzenosti je možné z náboženskej aj zo sekulárnej pozície podľa tohto, či sa hodnota ľudského genómu, resp. ľudskej prirodzenosti/podstaty odvodzuje, alebo neodvodzuje z existencie Boha. Napríklad z kresťanskej perspektívy je možné argumentovať, ako to u nás prednedávnom urobila Z. Sitarčíková (2012), v tom zmysle, že radikálne formy genetického vylepšenia (tie, ktoré sa týkajú esenciálnych, a nie akcidentálnych ľudských vlastností) zničia ľudskú prirodzenosť/podstatu, vďaka ktorej je človek schopný poznávať a milovať Boha.¹³ Polemizovali sme s týmto argumentom predovšetkým vzhľadom na teologicko-teleologickú interpretáciu ľudskej prirodzenosti, o ktorú sa Sitarčíkovej argument týkajúci sa neetikosti radikálneho zasahovania do ľudskej DNK opiera. Súčasne sme ukázali, že je možné jej argument transformovať do sekulárnej podoby, v ktorej by sa teologicko-teleologická interpretácia ľudskej prirodzenosti mohla transformovať na teleonomickú (evolučnú) (Sýkora 2014).

Vo Fukuyamovej argumentácii proti genetickému vylepšovaniu je vlastne jedno, či sa faktor X vysvetľuje z náboženskej, alebo zo sekulárnej perspektívy, pretože v oboch prípadoch podľa neho platí, že koncepcia univerzálnych ľudských práv sa opiera o existenciu univerzálnej ľudskej prirodzenosti (Fukuyama 2002). Fukuyama vlastne tvrdí, že v dôsledku genetických intervencií, ktoré by viedli k zmene faktoru X, sa nakoniec zrúti koncepcia všeobecných ľudských práv, a teda aj demokratické inštitúcie, pretože tie sa opierajú o koncepciu ľudskej dôstojnosti, a tá zase predpokladá existenciu ľudskej prirodzenosti spoločnej všetkým ľuďom.

Americký bioetik Georges Annas dokonca tvrdí, že genetické vylepšovanie ľudskej

¹³ Treba upozorniť, že nie všetci kresťanskí teológovia a bioetici sú proti IGM a genetickému vylepšovaniu (napr. Peters 2006; Peterson 2010). V tejto súvislosti pripomeňme, že v roku 2004 kardinál J. Ratzinger, ktorý sa stal neskôr pápežom Benediktom XVI., na zasadnutí rímskokatolíckej komisie „Communion and Stewardship: Human Persons Created in the Image of God“ odsúhlasil terapeutickú IGM (pozri Peterson 2010, 144).

prírodzenosti nevyhnutne povedie ku genetickej genocíde (nevylepšených) ľudí (Annas 2010). IGM zásahy do ľudského genómu považuje Annas za „zločiny proti ľudskosti“ a domnieva sa, že štáty i medzinárodná komunita by k nim mali podľa toho pristupovať. Argumentuje, že vylepšení jedinci budú podstatne prevyšovať nevylepšených ľudí vo všetkých dôležitých rysoch, akými sú zdravie, dlhovekosť, fyzická krása, intelektuálne schopnosti a pod., čím fakticky vytvoria novú genetickú elitu. Rozdiely budú časom narastať až do takej miery, že vylepšení ľudia prestanú vytvárať s nevylepšenými ľuďmi spoločný genofond, čím sa etabluje nový, posthumánny biologický druh (Silver 1977). Príslušníci genetickej elity budú mať v spoločnosti obrovskú konkurenčnú výhodu, čo povedie k tomu, že budú tvoriť aj spoločenskú elitu, ktorá si fakticky zotročí nevylepšených jedincov, ba dokonca ich môže úplne eliminovať. Dejiny sú plné príkladov takýchto zotročení a genocíd.

Annas sa neúspešne pokúšal v roku 2001 na pôde UNESCO iniciovať prijatie medzinárodného Dohovoru o ochrane ľudského druhu (*Convention on the Preservation of the Human Species*). Podľa tohto návrhu by sa signatárske štáty zaviazali prijať všetky potrebné kroky, vrátane úpravy trestného práva, proti uskutočňovaniu IGM (čl.1), techník klonovania pomocou prenosu jadra zo somatických buniek do enukleovaných vajíčok (čl. 2) a zaviazali by sa prijať aj legislatívu a efektívnu kontrolu experimentov s pohlavnými bunkami a embryami (čl. 3) (Annas 2010, 251-266).

Už sme spomenuli, že Rada Európy svojím *Dohovorom o ľudských právach a biomedicíne* explicitne zakazuje IGM. Zástancovia genetického vylepšovania človeka zosmiešňujú takéto snahy ochrániť ľudský genóm pred zmenou, poukazujúc na fakt, že ľudský genóm sa v dôsledku evolučných procesov mení neustále, nie je ho možné chrániť ako nejaké cenné umelecké diela (Buchana 2011). J. Harris priamo hovorí o tom, že človek nielen že môže, ale v niektorých prípadoch aj musí vziať svoju biologickú evolúciu do vlastných rúk, ak chce v budúcnosti prežiť v zmenených životných podmienkach. Snahu zakonzervovať ľudský genóm v podobe, v akej existuje dnes, môže z pohľadu budúcich generácií pôsobiť rovnako absurdne, ako by sa nám javila snaha australopitekov ochrániť svoj genofond pred evolučnými vylepšeniami (Harris 2007).

Záver. Pokúsili sme sa ukázať, prečo v diskusii o etickosti/neetickosti zásahov do ľudskej prírodzenosti pomocou IGM považujeme za nesprávne obidve krajné pozície. Buď sa prehnane zdôrazňuje potreba stability ľudského genómu, až sa z neho stáva posvätné tabu, alebo sa naopak obhajujú viac-menej akékoľvek zásahy do ľudského genómu, pričom sa poukazuje na evolučnú plasticitu ľudského genómu. Ľudský genóm však nie je ani stabilný, ani plastický, ale obojaký. Je relatívne plastický aj stabilný, rozhoduje časová škála. Musíme si uvedomiť, že evolučné zmeny ľudského genómu sa uskutočňujú rádovo v tisícoch až desaťtisícoch rokov. Podľa evolučných biológov sa podstatné rysy ľudského genómu (ľudská prírodzenosť) za posledných asi päťdesiat tisíc rokov podstatne nezmenili. Nemáme žiadne dôkazy o tom, že by sa biologická evolúcia človeka v modernej dobe zrýchľovala (skôr sa v porovnaní s minulosťou spomaľuje), takže považovať ľudský genóm za pomerne stabilnú štruktúru minimálne v rámci trvania jeho kul-

túrnej evolúcie je oprávnené. Obavy z použitia vylepšujúcich IGM, ktoré by zásadnejším spôsobom túto stabilitu narušili, preto považujeme z hľadiska rizikovosti vyplývajúcej z nepredvídateľnosti všetkých relevantných dôsledkov za opodstatnené.

Literatúra

- AGAR, N. (2004): *Liberal Eugenics*. Oxford: Blackwell Publishing.
- AGAR, N. (2014): *Truly Human Enhancement. A Philosophical defense of limits*. Cambridge, MA: MIT Press
- ANNAS, G. (2010): *Worst Case Bioethics*. Oxford: Oxford University Press.
- BALTIMORE, D., BERG, P., BOTCHAN, M., CARROL, D. (ET AL.) (2015): A prudent path forward for genomic engineering and germline gene modification. *Science*, 348 (230), 36-38.
- BOSTROM, N. (2005): In Defence of Posthuman Dignity. *Bioethics*, 9 (3), 202-214.
- BREDENOORD, A. L., PENNING, G. AND DE WERT, G. (2008): Ooplasmic and nuclear transfer to prevent mitochondrial DNA disorders: conceptual and normative issues. *Human Reproduction Update*, 14 (6), 669-678.
- BUCHANAN, A. (2011): *Better Than Human. The promise and perils of enhancing ourselves*. Oxford: Oxford University Press.
- BUCHANAN, A., BROCK, D. W., DANIELS, N. AND WINKLER, D. (2000) : *From Chance to Choice: Genetics and Justice*. New York: Cambridge University Press.
- DEFRANCESCO, L. (2014): 23andMe's designer baby patent. *Nature Biotechnology*, 32 (8), 8.
- FUKUYAMA, F. (2002): *Our Posthuman Future*. New York: Farrar, Strauss and Giroux.
- GORDIJN, B. (2008): Converging NBIC Technologies for Improving Human Performance. In: Gordijn, B. and Chadwick, R. (eds.): *Medical Enhancement and Posthumanity*. Springer Science + Business Media B.V.
- GORDON, J. W. (2003): *The Science and Ethics of Engineering the Human Germ Line – Mendel's Maze*. Hoboken, N. J.: John Wiley and sons Publ.
- HÄYRY, M. (2010): *Rationality and the Genetic Challenge. Making People Better?* Cambridge: Cambridge University Press.
- HARRIS, J. (2007): *Enhancing Evolution. The ethical case for making better people*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- HŘÍBEK, T. (2014) : Etika lidského vylepšování a liberální eugenika. *Filosofický časopis*, 62, 847-861.
- LAMPHIER, E., URNOV, F., HAECKER, E., WERNER, M., AND SMOLENSKI, J. (2015): Don't edit the human germ line. *Nature*, 519, 26th March 2015, 410-411.
- KEVLES, D. J. (1985): *In the Name of Eugenics: Genetics and Uses of Human Heredity*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- PETERS, T. (2006): *Anticipating Omega: Science, Faith and Our Ultimate Future*. Gottingen: Vandenhoeck and Ruprecht.
- PETERSON, J. C. (2010): *Changing Human Nature: Ecology, Ethics, Genes, and God*. Grand Rapids/ Cambridge: Wm. B. Eerdmans Publ. Co.
- RASKO, J. – O'SULIVAN, G. M. – AND ANKENY, R. A. (eds.) (2006): *The Ethics of Enheritable Genetic Modification. A Dividing Line?* Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- RO, S., MA, H.Y., PARK, C. ORTOGERO, N., SONG, R., HENNIG, G.W., ZHENG, H., LIN, Y. M., MORO, L., HSIEH, J. T., YAN, W. (2013): The mitochondrial genome encodes abundant small noncoding RNAs. *Cell Research*, 23 (6), 759-74.
- SELGELID, M. (2002) : *Societal Decision Making and the New Eugenics*. Bad Neuenahr-Ahrweiler, Germany: European Academy.
- SILVER, L. (1997): *Remaking Eden*. New York: Avon Books.

- SITARČÍKOVÁ, Z. (2012): *O šľachtení človeka: Nanotechnológie, transhumanizmus a ľudská prirodzenosť*. Trnava: Typi Universitatis Tyrnaviensis
- SPARROW, R. (2014): Ethics, eugenics, and politics. In: Akayabashi, A. (ed.): *The Future of Bioethics: International Dialogues*. Oxford: Oxford University Press, 139-153.
- STERCKX, S., COCKBAIN, J., HOWARD, H.C. AND BORRY, P. (2013): "I prefer a child with...": designer babies, another controversial patent in the arena of direct-to-consumer genomics. *Genetics in Medicine*, 15 (12), 923.
- SÝKORA, P. (2014): Kritika teologicko-teleologickej koncepcie ľudskej prirodzenosti ako dôvodu odmietnutia transhumanizmu. *Filozofia*, 69 (6), 514-525.
- TACHIBANA, M., SPARMAN, M., SRITANAUDOMCHAI, H., MA, H., CLEPPER, L., WOODWARD, J., YING LI, RAMSEY, C., KOLOTUSHKINA, O. & MITALIPOV, S. (2009): Mitochondrial gene replacement in primate offspring and embryonic stem cells. *Nature*, 461, 367-372.
- WANG, H. YAONG, H., SHIVALILA, C., DAWLATY, M., CHENG, A., ZHANG, F., JAENISCH, R. (2013): One-Step Generation of Mice Carrying Mutations in Multiple Genes by CRISP/Cas-Mediated Genome Engineering. *Cell*, 153 (4), 910-918.

Príspevok vznikol na Katedre filozofie FF UCM v Trnave a podporila ho Agentúra na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0379-12: Analýza filozoficko-etických dimenzií NBIC-technológií vo vzťahu k vylepšovaniu človeka.

Peter Sýkora
Centrum pre bioetiku, Katedra filozofie FF UCM v Trnave
Námestie J. Herdu 2
917 01 Trnava
Slovenská republika
e-mail: petersykora111@gmail.com